

補助事業番号 2018M-128
補助事業名 平成30年度 高圧場での凝固・熱処理プロセスによる新奇Mg合金の研究
補助事業
補助事業者名 愛媛大学機械工学コース 准教授・松下正史

1 研究の概要

<http://ipst.adm.ehime-u.ac.jp/msup/>

高強度なマグネシウム合金の開発を行った。硬い相と柔らかい相の二相が交互に折り重なった二相ナノコラム合金の合成を高圧合成法によって行った。二相からなるコラム状の結晶粒が放射状に広がり球状になるスフェライト構造の形成に成功した。スフェライト構造の形成は金属では稀である。また、本材の圧縮強度はこれまでに報告されているマグネシウム合金の中で最も高い。さらに、マグネシウム合金の分野で注目されているキンク変形する長周期超格子の探索を行った。キンク変形する長周期超格子としては、これまでにシンクロLPSOと呼ばれる物質の一群が知られているが、本研究では同物質群とはことなる長周期超格子を発見した。

2 研究の目的と背景

排出ガスの削減や省エネルギー化の観点から、自動車や飛行機、電車といった輸送機器の軽量化が求められている。これら輸送機器の軽量化をかなえる方策の一つが、車体(機体)に利用されている材料をより軽量な材料に置き換えてしまうことである。

現在、車体は炭素鋼(鉄と炭素でできた材料)、電車の車体はアルミニウム合金や炭素鋼、飛行機の機体にはアルミニウム合金、炭素繊維強化プラスチック、炭素鋼などが使われている。そこで、さらに軽量化する方法としてマグネシウム合金を使用する案が各国で提案されている。マグネシウムは構造材料として実用可能な金属元素として最も軽い。その密度はアルミニウムの約1/2、鉄の1/4.5の密度であり、プラスチックと同等である。しかし、マグネシウムは、強度と難燃性の面で不安がある。そこで、マグネシウム合金に幾つかの元素を添加し、強度と難燃性の面で優れたマグネシウム合金を開発に取り組んでいる。

本研究では、マグネシウム合金の強度を上げる手法として、結晶粒の微細化による強化とキンク強化に注目する。身の回りの多くの物質は結晶の集合体である。この結晶の粒が小さくなればなるほど、物質の強度が上がる現象はホールペッチの法則として知られており、高強度材料の開発ではよく利用される方法である。一方、キンク強化とは近年、日本で提唱された材料強化機構であり、異方性の高い長周期構造が座屈することで、材料の変形を阻害し強度をあげる強化メカニズムである。

本事業ではナノサイズの結晶粒を持つマグネシウム合金の作製と、キンク強化に資する異方性の高い長周期構造の作製の二つの研究を行った。

3 研究内容

(1) 二相ナノコラム組織を有するマグネシウム合金の形成と微細構造の制御

高い圧力下で材料を作製すると結晶粒は小さくなる。本研究では柔らかい相と硬い相の二つの相が形成される合金を高い圧力下で作製した。その結果、上記二相からなるナノサイズの柱状の結晶粒が交互に組み合わさり、放射状に発達した合金の作製に成功した(図1)。この材料の圧縮応力—歪み線図を図2に示す。0.2%耐力($\sigma_{0.2}$)はこれまでに報告されたマグネシウム合金を上回る。

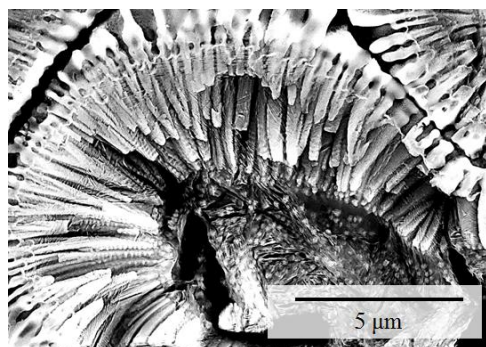


図1. 二相ナノコラム組織を有するマグネシウム合金の電子顕微鏡像。

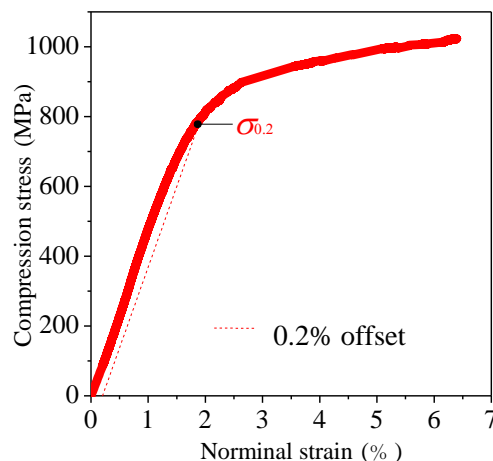


図2. 二相ナノコラム組織を有するマグネシウム合金の圧縮曲線。

(2) 長周期超格子(Long-period superlattice: LPSL)を有するマグネシウム合金の探索

マグネシウムの三元合金ではシンクロ型LPSOと呼ばれる長周期構造が報告されている。シンクロ型LPSOはマグネシウムのhcp母相内でキンク(座屈)をおこし、従来の商用Mg合金のおよそ二倍の強度を示す。本研究ではシンクロ型LPSOと同様にキンクを起こしうる塑性異方性の高いLPSLを探索した。

その結果、 $Mg_{97}Zn_1Yb_2$ 合金中にMgのhcp構造のc軸の2倍、a軸の6倍の長さをもつLPSLを発見した(図3)。これまで、上記合金中では高圧合成により複数種のLPSLが形成されること

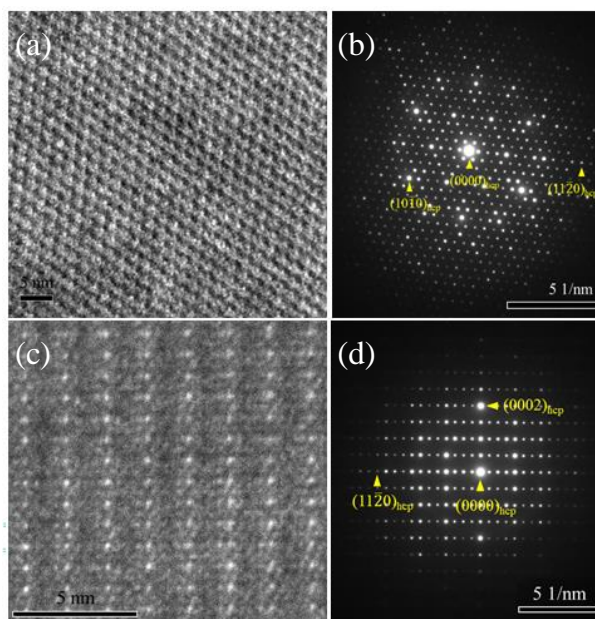


図3. 本研究で大気圧下で急冷された $Mg_{97}Zn_1Yb_2$ 合金中で発見された LPSL の透過電子顕微鏡(TEM)像と電子線回折(ED)。[0001]入射の高解像度 TEM 像(a)とそのED(b)。[1-100] 入射の高解像度 TEM 像(c)とそのED(d)。

が報告されてきた。本研究では、工業的に容易な大気圧下での急冷によって、新奇なLPSLの作製に成功した。

4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

研究内容（１）では、従来のマグネシウム合金の圧縮特性を上回る物質を作製した。本研究を通して得られた微細二相構造とその力学特性についての知見は、より高強度な材料を設計する指針として今後の材料開発に反映される。

研究内容（２）では、新奇な長周期超格子の形成に成功した。長周期超格子がキンク強化を起こす相として働くか否かは今後の研究にゆだねられる。もし、キンクを通じた強化相として本構造が働く場合は、今度更に同種物質を探索することで高強度マグネシウム合金群の開発につながる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

2004年3月 博士(理学)。

2004年4月～2006年3月 日立電線(株)(現:日立金属)にて、非鉄金属材料の研究に従事。
2006年4月以降、愛媛大学工学部機械工学科にて、学生への材料教育と、特殊鋼ならびに新奇な構造を有する非鉄金属材料の開発と機械特性の研究に従事。

今回研究対象としたマグネシウム合金の研究は、代表者が参画した文科省新学術領域「シンクロLPSOの材料科学」(2011～2017)の成果を踏まえて、マグネシウム合金のさらなる高機能化を行うために実施した。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(1) Ultrafine spherulite Mg alloy with high yield strength

Masafumi Matsushita, Kohtarō Masuda, Ryohei Waki, Hiroaki Ohfuji, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura, Yuji Higo

Journal of Alloys and Compounds, Vol. 784, Pages 1284–1289, 2019年1月

(2) Key Factor for the Transformation from hcp to 18R-Type Long-Period Stacking Ordered Structure in Mg Alloys

Masafumi Matsushita, Takafumi Nagata, Jozef Bednarcik, Norimasa Nishiyama, Shoya Kawano, Satoshi Iikubo, Yuji Kubota, Ryo Morishita, Tetsuo Irifune, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura, Masanori Enoki, Hiroshi Ohtani,

Materials transactions, Vol. 60(2), Pages. 237–245, 2019年2月

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当なし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 愛媛大学工学部(エヒメダイガク コウガクブ)

住 所： 〒790-8577

松山市文京町3

担 当 者： 准教授 松下 正史 (マツシタ マサフミ)

担 当 部 署： 機械工学コース(キカイコウガクコース)

E - m a i l: matsushita.masafumi.me@ehime-u.ac.jp

U R L: <http://ipst.adm.ehime-u.ac.jp/msup/about/>